

*MH Kecskeméti Repülőkörház Repülőorvosi Kutató Osztály,
Szegedi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar
Repülő- és Űrorvosi Tanszék**

Repülőorvosi szempontok az új Eurofighter tervezésében (Új mérnök-műszaki megoldások a repülésbiztonság érdekében)

**Dr. Szabó Sándor András orvosalezredes,
Dr. Grósz Andor* orvosezredes, Ph.D., egyetemi magántanár,
Prof. Dr. Hideg János* (ny.) orvosvezérőrnagy, DSc.,
Dr. Pásztai Zsolt orvosőrnagy,
Dr. Tótká Zsolt orvosőrnagy,
Dr. Augusztin Gábor orvosalezredes**

Kulcsszavak: extrém gyorsulási vektorok, új típusú magassági védőfelszerelés és oxigén rendszerek, új kabin és sisak ergonómia, kényszerelhagyási eszközök

A katonai repülőtechnika fejlesztése során új, az emberi teljesítőképesség határát súroló műszaki megoldások születnek. Ezek összeegyeztetése a humán fiziológiai és pszichikai tényezőkkel új megoldásokat, személyre szabott védelmet követel. Az élettani alapproblémák ismertetése után áttekintjük a megoldások módozatait, az elérhető és a repülésbiztonsággal összeegyeztethető kompromisszumokat. Ezek túlnyomó többsége a magassági védőfelszerelés módosításával illetve kiterjesztésével (új anti-G ruha, túlnyomásos légzés új indikációja, új oxigén rendszerek) kapcsolatos. A teljesség igénye nélkül elemezzük az operativitás fenntartásának új szempontjait is, a zajvédelem, a látásjavító berendezések, a fejtvédelem, a katapult berendezés, a dezorientáció elleni védelem kapcsán, alapvetően preventív szempontból.

Bevezetés

A repülőorvostan lényegében a XX. század gyermeke. A foglalkozás-egészségügyi ágazaton belül külön diszciplínát képvisel, amely a potenciálisan veszélyes és ellenséges repülési környezetben az emberi teljesítőképesség határaival, fenntartásával, ill. megőrzésének lehetőségeivel foglalkozik. Mint alkalmazott tu-

domány, szorosan követi a repülőtechnika és avionika, valamint a kapcsolódó műszaki tudományok időnként robbanásszerű fejlődését és megpróbál az új kihívásokra új megoldásokat kínálni. Jó példa erre a múltból (II. világháború és azt követő évtized) a nagysebességű – nagymagasságú repülések miatt kifejlesztett magassági védőfelszerelések (magassági ruha-sisak-oxigénlégző rendszer, an-



1. ábra: A jövő vadászgépe a Eurofighter/EFA 2000/Typhoon

ti-G (gyorsulás ellen védő) ruha, valamint a repülőgép vészhelyzetben történő elhagyását biztosító katapult rendszer kidolgozása. A közeljövő kihívását pedig a vadászgépek új generációja (Eurofighter, Rafale, F-22, Gripen) jelenti, a nagy sebesség-gyorsulás és manőverező képesség szélsőséges magassági tartományban való fenntartásával, a gyorsulási vektor dinamikus változtathatóságával. Az ezekre adandó válaszokat a

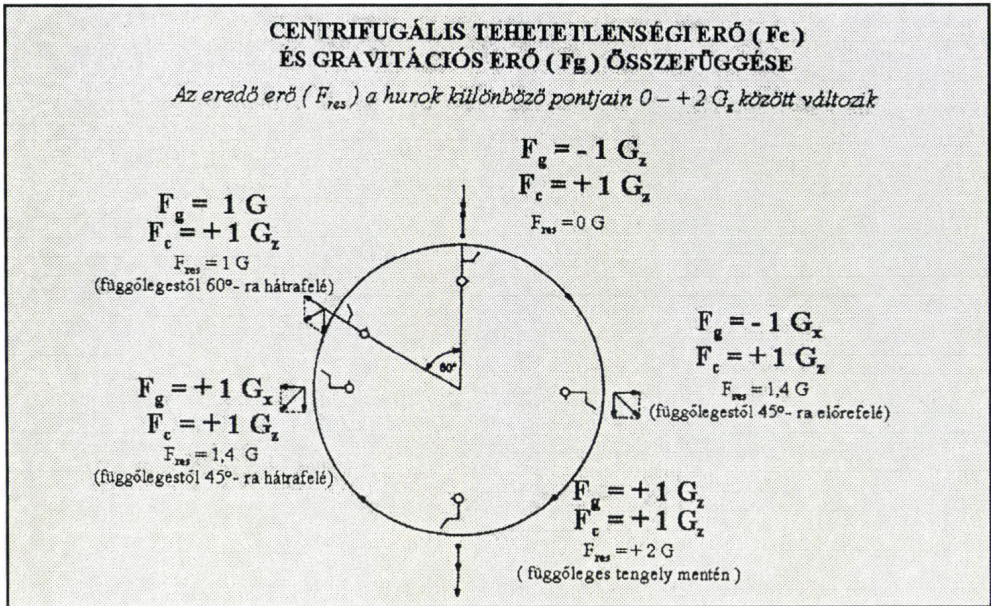
Eurofighter kapcsán elemezzük, bár a fejlesztők a többi gép esetében is számos új megoldással kísérleteznek.

A Eurofighter (EFA) újszerű technikai megoldásai

A Eurofighter/EF-2000/Taifun új többfunkciós vadászgép (1. ábra). Négy ország együttműködésében (Egyesült Királyság: British Aerospace - Warton, NSZK: Daimler-Benz Aerospace, Olaszország: Alenia, Spanyolország: CASA) készül. A fejlesztés a befejező fázisához közeledik /Franciaország helyette a Rafale-t fejleszti/. A tervek szerint 700 db-ot saját célra, 800 db-ot exportra gyártanak, többcélú fegyverzettel {levegő - levegő (A/A), levegő - föld (G) harcra}, hatékony gazdasági mutatókkal (6 000 repült óra 25 év "kihordási idő"-vel). A gép technikai paraméterei egyedülállóak: csúcsmagasságban (18.5 km) csúcssebességhez közeli sebességet illetve gyors felépésű, tartós +/- Gz (fej/lábirányú) gyorsulást képes fenntartani az em-

Gyorsulás		Túlterhelés	
ELŐRE	HÁT-MELL	$+a_x$	MELL-HÁT $-g_x$
HÁTRA	MELL-HÁT	$-a_x$	HÁT-MELL $+g_x$
FEL	LÁB-FEJ	a_z	FEJ-LÁB $+g_z$
LE	FEJ-LÁB	$-a_z$	LÁB-FEJ $-g_z$
JOBBRA	JOBBRA	$+a_y$	BALRA $-g_y$
BALRA	BALRA	a_z	JOBBRA $+g_y$

2. ábra: Gyorsulások és túlterhelések nemzetközi nomenklatúrája



3. ábra: Repülés alatt ható erők függőleges hurokrepülés közben

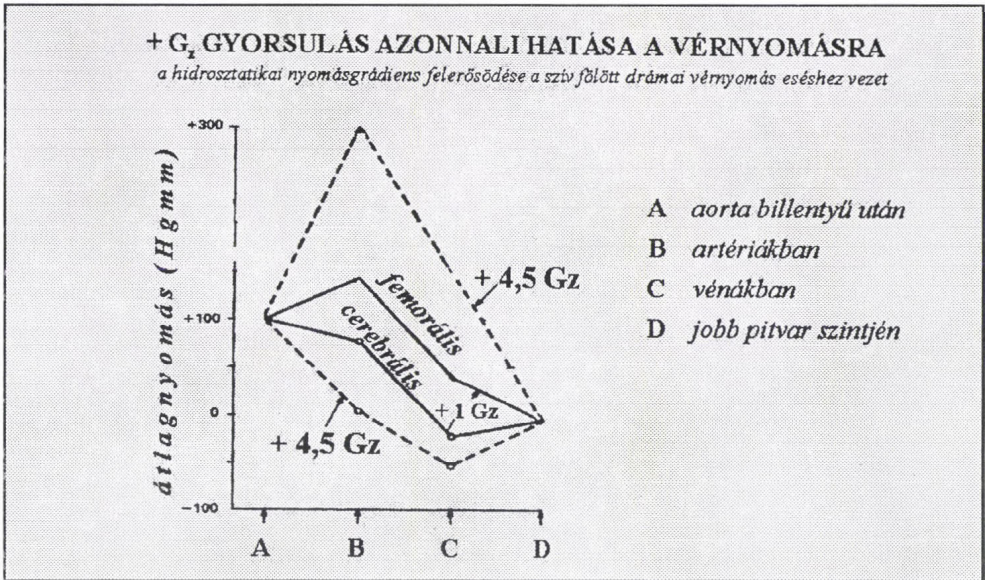
beri teljesítőképesség határán túl (-9 Gz- +5 Gz tartományon kívül, akár +15 Gz-ig) (1). Együléses, két hajtóműves (Eurojet EJ 200 turbofan, egyenként 90 kN maximális tolóerő), rendkívül nagy manőverező képességű, több feladatú harci gép. Mind közelharcra, mind a látótávolságon túl lévő cél leküzdésére, és a légi-főlény megszerzésére alkalmas. Fesztáv 10,95 m, teljes hossz 15,96 m, magasság 5,28 m, üres tömeg 9 999 kg. Strukturális gyorsulás tűrő képesség +9/-3 G. Maximális sebesség 2 Mach. Akár három külső üzemanyag pót-tartály is felhelyezhető. Fegyverzete rendkívül változatos lehet: légi célok ellen MRAMM, ASRAAM, AIM-9L, Mk 27 típusú rakétával ill. ágyúval szerelhető fel Földi célok ellen UK 1000 fontos, BL 755 klaszter bombák, GBU 10/16 lézer vezérlésű bombák helyezhetők fel.

A gyorsulási vektor dinamikus változása (átelési képesség) a térbeli dezorientáció új, tiszta formáit teremti meg. A vektoriálisan összeadó gyorsulások kardiovaszkuláris maladaptációt okozhatnak ("push-pull effect", a botkormány előre-hátra húzásával teremtett pozitív-negatív túlterhelések). E repülőgépen is a zajvédelem, a kommunikáció fenntartás, a hőkomfort operatív szempontból alapvető. Mindez új repüléséletteni problémákat vet fel.

A Eurofighter újszerű megoldásai repülőorvosi szempontból

Gyorsulás

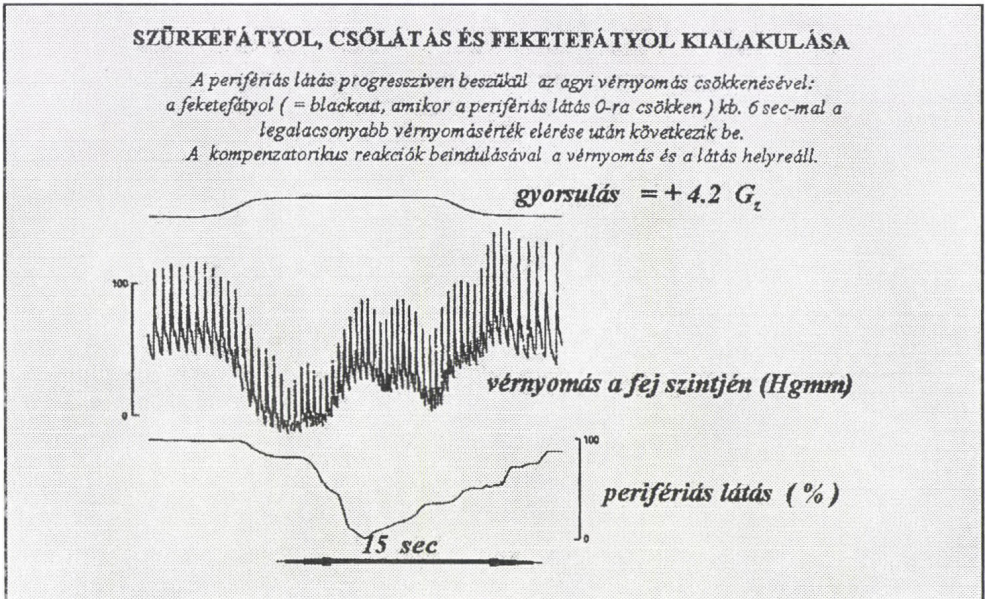
A fizikai gyorsulások (a pillanatnyi sebességvektor irányának és nagyságának megváltozása révén) az emberi szervezetben a gyorsulás nagyságával azonos, de azzal ellentétes irányú túlterheléseket hoznak létre, a



4. ábra: A hidrosztatikai nyomásgradiens és a vérnyomás

testre, mint fizikai objektumra ható tehetetlenségi erők miatt. Ezek nemzetközi nomenklatúrája (a test tengelyeihez viszonyított előjele) megállapodás kérdése (2. ábra). A

nemzetközi nomenklatúra szerint a test hossz- (Z) tengelye mentén +/- Gz erők, a sagittális (X) tengely mentén +/- Gx, a haránt (Y) tengely mentén a +/- Gy gyorsítóerők hatnak. A



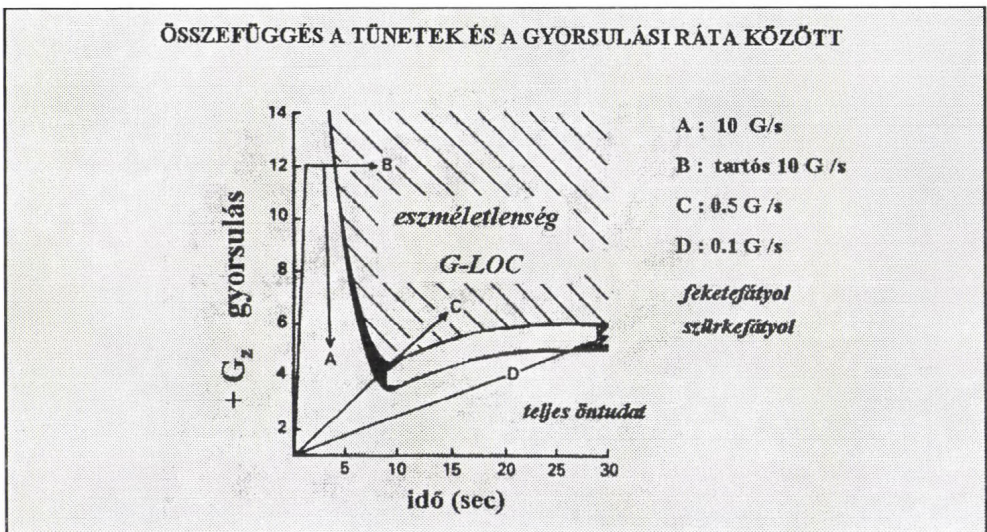
5. ábra: Szürkefátyol-feketefátyol kialakulási mechanizmusa

gyorsítóerő és a túlterhelés előjele – azonos tengely mentén egymással ellentétes –, szintén megállapodás révén alakult ki. A mindennapi gyakorlatban inkább a fej-far ill. far-fej, mell-hát ill. hát-mell, és jobb-bal ill. bal-jobb irányú megjelölést használjuk a túlterhelés iránya szerint.

A maximális gyorsulással és túlterheléssel szembeni passzív tűrőképesség a különböző tengelyek mentén jelentősen eltérő. A repülési környezetben gyakorlati jelentősége a fej-far ill. far-fej irányú túlterheléseknek van, a vér áthelyeződés és hemodinamikai változások miatt („szürkefeketefátyol” ill. „vörösfátyol” jelensége). Ilyen irányú túlterhelések pl. műrepülés (függőleges hurokrepülés = looping) különböző fázisaiban léphetnek fel, az F_c (centripetális) és F_g (gravitációs) erő vektoriális összegződése miatt (3. ábra). A testre folyamatosan ható függőlegesen lefelé

irányuló F_g gravitációs erő és a kör során folyamatosan változó irányú F_c centripetális erő eredője (F_{res}) időben folyamatosan változó nagyságú és irányú. Így a kör alsó ívén a normális nehézségi erőnél nagyobb, a felső pontnál kisebb a túlterhelés. Fej-farirányú túlterheléseknél (hurokrepülés alsó íve) a vér a hidrosztatikai nyomásgrádiens fokozódása miatt az alsó testfél felé helyeződik át (4. ábra). A hidrosztatikai nyomásgrádiens meghatározza az intravasculáris nyomás alakulását: a szív fölött az artériás vérnyomás csökken, a szív alatt nő.

A fej (az agy ill. a retina) szintjén a hidrosztatikai nyomás esik. Csökken az agyi perfúziót fenntartó vérnyomás ill. a retinális vérátáramlás, az intraoculáris 20 Hgmm-es nyomás miatt, a periféria felől. A retina-agy szintjén csökkenő vérnyomás pedig a látási funkciók jellegzetes beszűküléséhez vezet, ez a szürkefátyol ill. feketefátyol (5. ábra).



6. ábra: A túlterhelés okozta tünetek idő-és gyorsulási rátától függőek

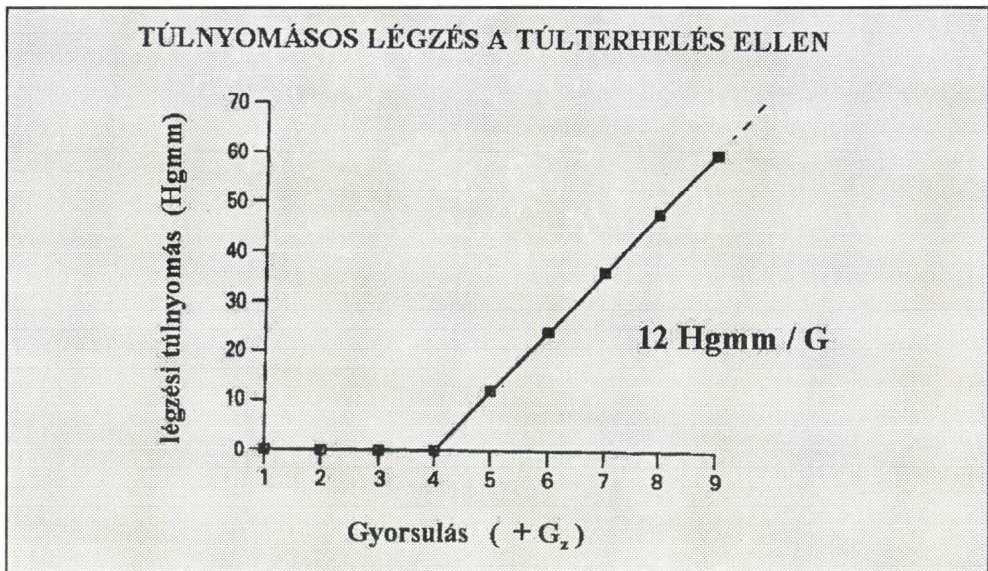
A gyorsulások okozta túlterhelésekkel szemben első lépcsőben az adaptív kardiovaszkuláris reflexek védenek, melyek fellépése természetesen időfüggő; ezért meghatározó tényező a gyorsulás fellépési sebessége (6. ábra). Emiatt túlterhelés okozta tünetek idő és gyorsulási rátától függők. Rövid idejű fej-far irányú túlterhelés elég az agyi vérnyomás drámai csökkenéséhez, az intraokuláris 20 Hgmm-es nyomás miatt a retinális keringés periféria felől kezdődő beszűküléséhez, illetve a látás elvesztéséhez. Nagyobb gyorsulás rövidebb idő alatt, beharangozó szemetünetek nélkül is eszméletlenséget okozhat.

A fej-láb irányú túlterhelések ellen eddig a hagyományos anti-G ruha (pl. az orosz PPK), a Valsalva manőver (amerikai terminológiával Hook manőver) és izomfeszítés együttesen (AGSM = Anti-G Straining Manoeuvre, azaz gyorsulás elleni feszítési manőver) védett, melyek megakadályozzák a vér áthelyeződését az alsó végtagokba és a perifériára, csökkentik a diafragma gyorsulás alatti caudális elmozdulását és így a szív-agy távolság kedvezőtlen növekedését. Egyszóval a keringési perctér fogat és cerebrális perfúzió megőrzését segítik elő [2]. Hatékonyságuk +2 ill. +4 Gz, ami a "természetes" G tűrő képességgel (4.7 +/- 0.6 Gz, lassú G növekedésnél) összeadva a csúcsterhelésnek számító +9 Gz rövid idejű (max. 10-15 sec-os) elviselését teszi lehetővé, a látási funkció beszűkülése (szürke- ill. feketefátyol) és eszméletvesztés (G-LOC = G induced loss of consciousness, gyorsulás okozta öntudatlanság) nélkül.

Ugyanakkor már a rendszerben lévő vadászgépek pilótáinál legalább 12-25 %-ban (USAF Amerikai Légierő F-16-os kiképzőszázadaiban több, mint 30 %-ban!!) leírják a G-LOC jelentkezését, ami a harci manőverek közben a fenti határértékek figyelmen kívül hagyásának következménye, és repülőkatasztrófák oki tényezője! E rendszer hátránya a kifáradás és a kommunikáció képtelenség az AGSM folyamatos kényszere miatt, ugyanis a pillanatnyi szünet a vénás telődés drámai csökkenését s a keringés gyors összeomlását okozza [3]. A Eurofighter ennél többet kíván: nagy magasságban is akár 15 Gz-s tartós gyorsulás a gép mechanikai-strukturális lehetőségeit nem haladja meg, de az emberét igen. Így az embergép-környezet rendszer gyenge láncszemévé megint az ember válik. Hogy a fentebb említett gyorsulási tartományban is megőrizze a pilóta a harcképességét, szükség van a következőkre:

- Megnövelt testfedésű anti-G ruha, amely az alsó testfél több mint 90 %-os takarását biztosítja. Az új FCAGT erre képes, a testfelszínre boruló és ráfeszülő tömlők révén kellő effektivitással akadályozza a vér perifériás kirekesztődését (pooling és transzszudáció).

- Forradalmian új típusú, a túlterhelés vagy gyorsulás elleni túlnyomásos oxigénlégzés (a hypoxia elleni PBA = magasság v. hypoxia elleni túlnyomással szemben ennek rövidítése PBG). Ez a túlnyomásos légzés "melléktermékét", a delta BP/PBA hányadossal jellemzett intrathoracalis nyo-



7. ábra: Módosított anti-G szeleppel vezérelt túlnyomásos rezsim

más és centrális vérnyomás emelkedést használja ki: minél nagyobb a testfelszínre adott külső nyomás (PBA), annál nagyobb a tüdőre adott túlnyomás révén a vérnyomás emelkedés (delta BP), ill. a túlterhelés alatti tenzió csökkenés és agyi perfúzió romlás magasabb G-tartományra tevődik át, nő a G-tűrő képesség. Ehhez szükséges még:

– Új típusú anti-G szelep, amely a kompenzációs nyomást a test felületre nemcsak a gyorsulás függvényében, hanem a fentiek miatt a tüdőre adott túlnyomással összhangban emeli. A hagyományos, +2 G_z-től 1.25 (angol profil) vagy 1.5 (amerikai profil) font/négyzet hüvelykkel (psi) növekvő ruhanyomással szemben (4) itt a tüdőre adott túlnyomással lépést tartó ruhanyomásra van szükség. Ennek profilja kicsit más: +4 G_z-től kezdődik, és 12 Hgmm/G gradienssel elvileg 12 G-ig (tüdőre adott 70 Hgmm-es túl-

nyomásig) növelhető (7. ábra).

– Vitattott, hogy ekkora intrapulmonális nyomás kompenzálásához szükség van-e túlnyomásos mellényre vagy zekére ill. esetleg elége a túlterhelés alatt megnövekedett mellkasfali túlsúly a tüdőexpánzió kivédésére (mint a Rafale esetében).

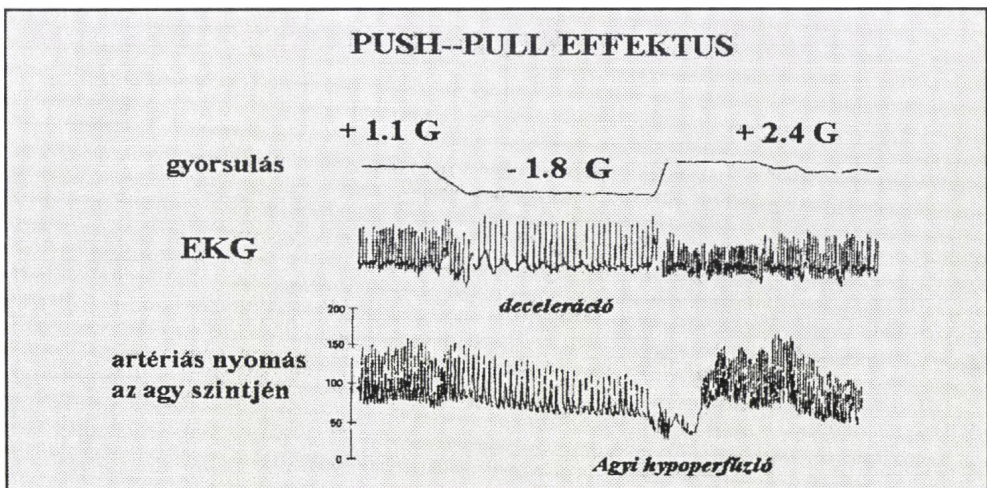
– Egyéb elméleti megfontolások alapján felmerül a pilóta testhelyzetének lényeges módosítása a vertikális szív-agy távolság csökkentésére, a túlterhelés alatti cerebrális nyomás csökkenés minimalizálására. Ez a pilótaülés minimum 65 fokos hátradöntését, ezáltal az egész kabin újra tervezését követelné meg (a Rafale illetve az F-16-os pilótaülésének 30 fokos reklinációja inkább csak kényelmi jelentőségű és tervezési megszorításokra vezethető vissza). A jövőben a pilóta teljes horizontális pozicionálása, a gyorsulási vektorok G_x tenge-

lyű (mell-hát irányban jóval nagyobb tűrőképességet (12-15 Gx) involváló) pozicionálása is elképzelhető például úgy, hogy a pilótát „ablak nélküli”, virtuális valóságot megjelenítő kabin veszi körül.

E fejlesztés alatt álló komplex rendszer előnye: a pilóta képes a +9 - +12 Gz tartománybeli túlterhelések tartós elviselésére erőfeszítés, kifáradás nélkül. Megoldandó technikai részletek még a nagyobb levegő/oxigén szükséglet biztosítása a hajtómű-kompresszor rendszerről, a pilóta egyéni felszerelésének megfelelő átalakítása (módosított anti-G szelep, automatikus feszítésű maszk-szél hermetizációja), a felszerelések integrációja a meglévő kabin berendezésekhez, illetve egyéb ruházatokhoz (pl. ABV ruházat atom-, biológiai vegyi szennyeződések ellen, a kabin vézelhagyásának szabad útja, a sisakhoz illesztett kijelzők stabilizációja). Megoldandó orvosi problémát jelent:

– A pilóták tréningje az új gyorsulási

profiloknak és gyorsulási tartományoknak megfelelően. A pilóták kiképzése új agilis, nagy gyorsulási képességű centrifugában történhet, ahol az eddigi profiloktól eltérő (lassú GOR profil: 0.1 G/sec gyorsulás növekedés, gyors ROR: 1.0 G/sec gyorsulás növekedés, SACM (= simulated air combat manoeuvre = szimulált légi harc manőver) +4 és +7.5 Gz között ismétlődő futamokkal), akár +15 G/sec fellépési sebességű gyorsulások előidézésére és fenntartására van lehetőség. A NATO szabványok szerint a pilóta jelenleg csak az anti-G feszítési manővert és a G-LOC eszméletvesztés megelőzését gyakorolja (bár egyesek szerint a G-LOC átélése hasznos lehet, mivel lerövidíti az öntudat visszatértekor a teljes és részleges öntudatvesztés ill. cselekvőképtelenség kb. 15-15 másodpercnyi periódusát), de a jövőben szükség lesz a centrifugában a nagy gyorsulás melletti túlnyomásos légzés (PBG) illetve az ún. joystick feladatok egyidejű végrehajtására, a



8. ábra: A push-pull effektus

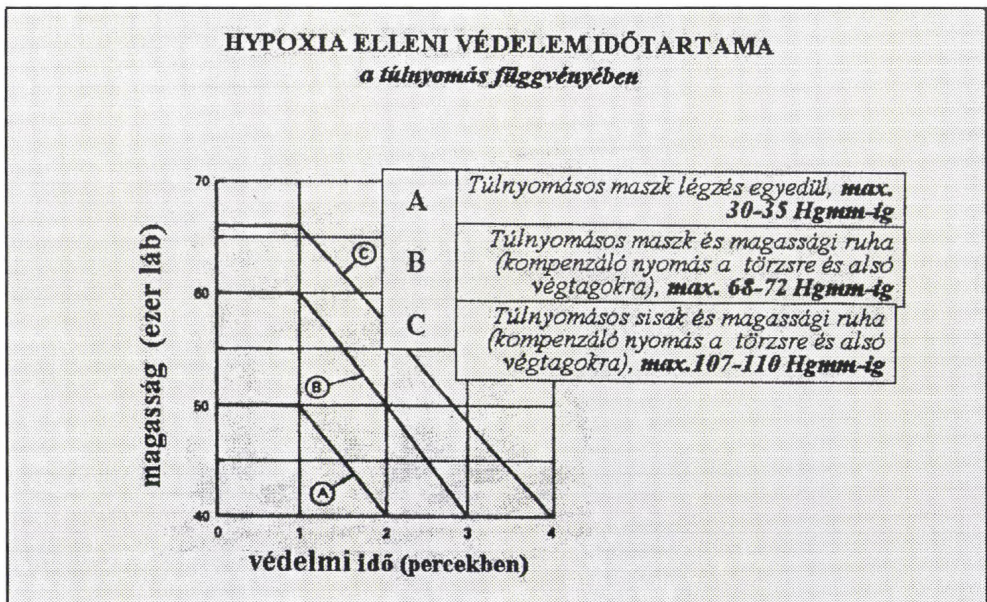
harci feladat teljes értékű modellezésére.

– Az akut és krónikus/degeneratív nyaki problémák megelőzése. A pillanatnyi nagy túlterhelések erősen igénybe veszik a nyaki lágyrészeket (akut izomfájdalom és lágyrész duzzanat) ill. hosszabb távon degeneratív nyaki gerinc elváltozásokat provokálnak. Ez szükségessé teszi a gerincelváltozások kellő időbeni észlelését (longitudinális MRI vizsgálatok?), nyakizom erősítő gyakorlatok bevezetését [5], valamint a fej megfelelő megtámasztását. Az utóbbi viszont a légiharchoz szükséges mindenirányú kitekintéssel, fejmozgékonyossággal nehezen egyeztethető össze.

– A vénás visszatelődés akadályozottsága miatti alkar fájdalom kivédése. Az alacsonyan elhelyezkedő botkormány (és a sűrűbben alkalma-

zott túlnyomásos légzés) okozta csökkent vénás visszaáramlás miatti vénás túlfeszülés a C típusú idegrostokban fájdalomingerületet kelt, ami a túlterhelés alatt elvonhatja a pilóta figyelmét. Megoldást a HOTAS rendszer (hands on stick and throttle, a botkormányon elhelyezett vezérlőszervek) magasabbra helyezése nyújthat, amihez persze megint a kabin ergonómiáját összességében kell módosítani (lásd később).

A hajózáóállomány megfelelő elméleti kiképzése, a túlterhelésekkel kapcsolatos problémák megvilágítása, a szükséges gyakorlati-centrifuga edzések kellő gyakoriságú végrehajtása (minimum 5 évente a NATO szabvány szerint) segíthet a G-LOC kivédésében, a harcképesség fenntartásában. Különösen fontos a push-pull effect (hirtelen pozitív-negatív Gz irányú túlterhelések váltakozása)



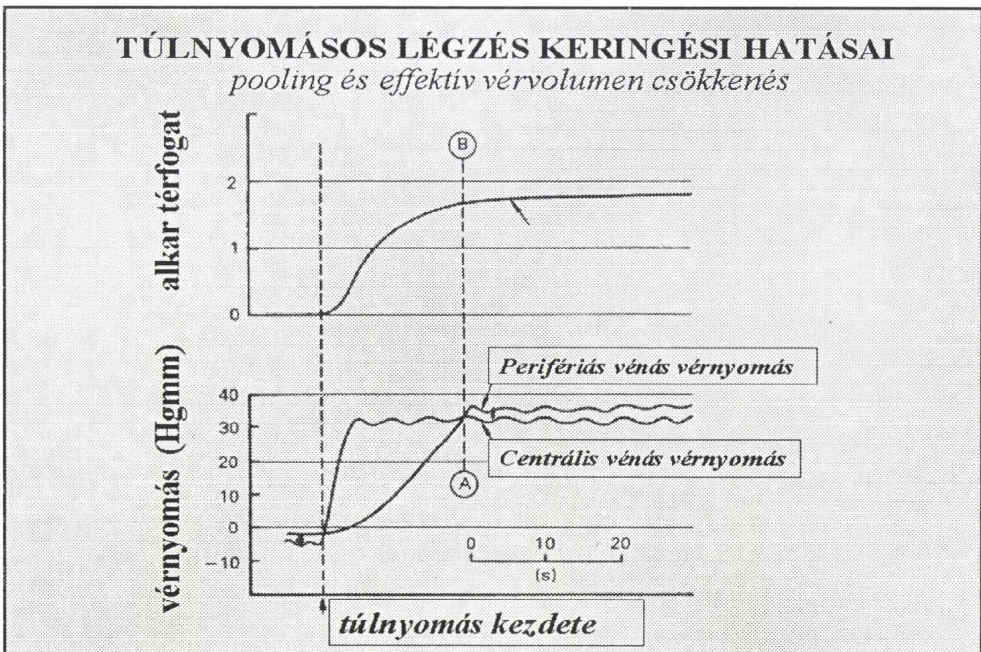
9. ábra: Hypoxia elleni védelem extrém magasságban

elkerülése, a kiszámíthatatlanul romló kardiovaszkuláris reflex ismerete, amely repülőkatasztrófák oka lehet [6] (8. ábra). Ennek hátterében az áll, hogy a vektoriálisan összeadó gyorsulások miatti kis gyorsulások kardiovaszkuláris hatásai is összeadódnak. Előzetes agyi hyperémia után a baroreflex szenzitivitás megnő. A deceleráció rontja a következő fázisban szükséges tachycardiát, agyi hypoperfúziót okoz. A pilóta ilyenkor hosszú másodpercekre álomszerű, döntésképtelen állapotba kerül az elhúzó agyi hypoperfúzió miatt.

Hypobárikus hypoxia

A hypoxia elleni védelem katonai repülőgépeknél nem kényelmi, hanem harcképességi szempont. A gép csúcsmagasságáig a pilóta számára megfelelő alveoláris és így artériás

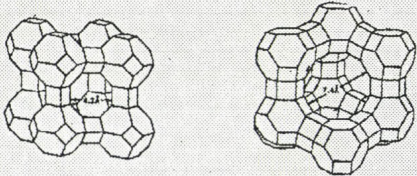
oxigén tenzió biztosítandó. Ezt első lépésben a hermetizált kabin által fenntartott túlnyomás és elfogadható légköri nyomású kabinlevegő belégzése biztosítja. Kabinnyomás elvesztésekor valamennyi (keleti és nyugati gyártású) harci gépnél a maszkon keresztül illetve a sisakban belélegzett levegő összetételének a módosítása szükséges: először az oxigén arányának a tengerszintihez képest fokozatos emelése (kb. 2-3 000 m-től 8 000 m-ig az oxigén aránya 100 %-ra nő), majd 12-13 000 m-től az oxigén túlnyomással történő belégzése nélkülözhetetlen. Ez a gépek csúcsmagasságáig kellő oxigenizációt biztosít, miközben a tüdő disztenzió és barotrauma ellen a testfelületre megfelelő ellennyomást adó túlnyomásos ruha véd (9. ábra). A hagyományos, túlnyomás ellen védő ruha (pl. az orosz megoldás, a VKK a capstan tí-



10. ábra: A túlnyomás légzés és a keringés

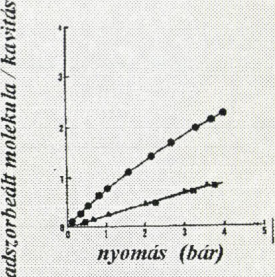
MODERN OXIGÉN RENDSZEREK

MOLEKULÁRIS OXIGÉN KONCENTRÁTOR



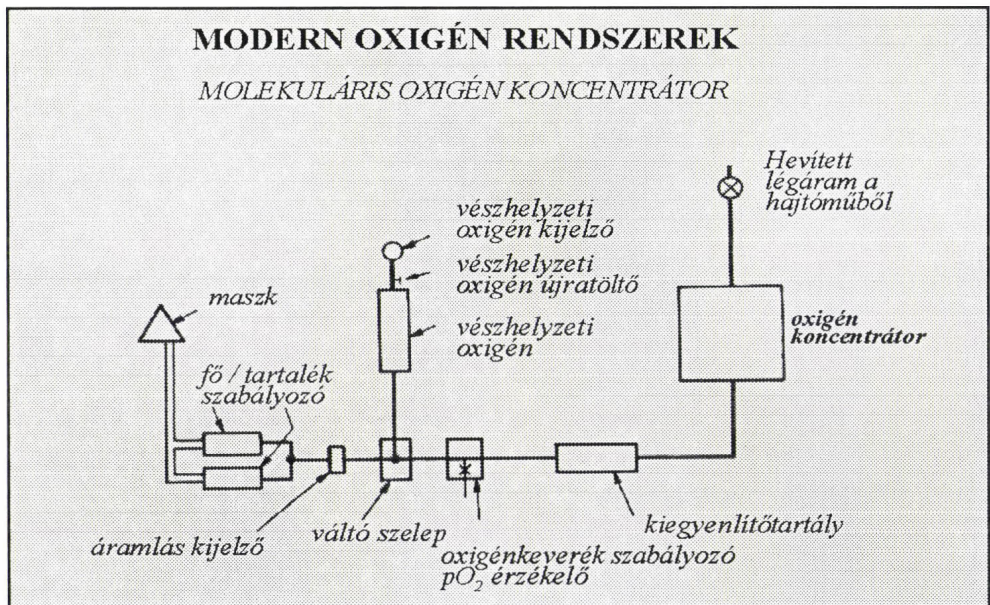
A zeolit kristály családba tartozó natrium / kalcium aluminium szilikátok reguláris tetraéder strukturákat építenek fel. A kristályrácsban 5 ill. 13 A átmérőjű üregek találhatóak.

adszorpciós izotermek tiszta nitrogénre ●, oxigénre ▲ és argonra ■



Nagy nyomáson a molekula méretétől és polaritásától függően adsorptio lép fel. A kristályban a nitrogén lekötődik, a kijutó oxigén koncentrációja megközelíti a 100 %-ot.

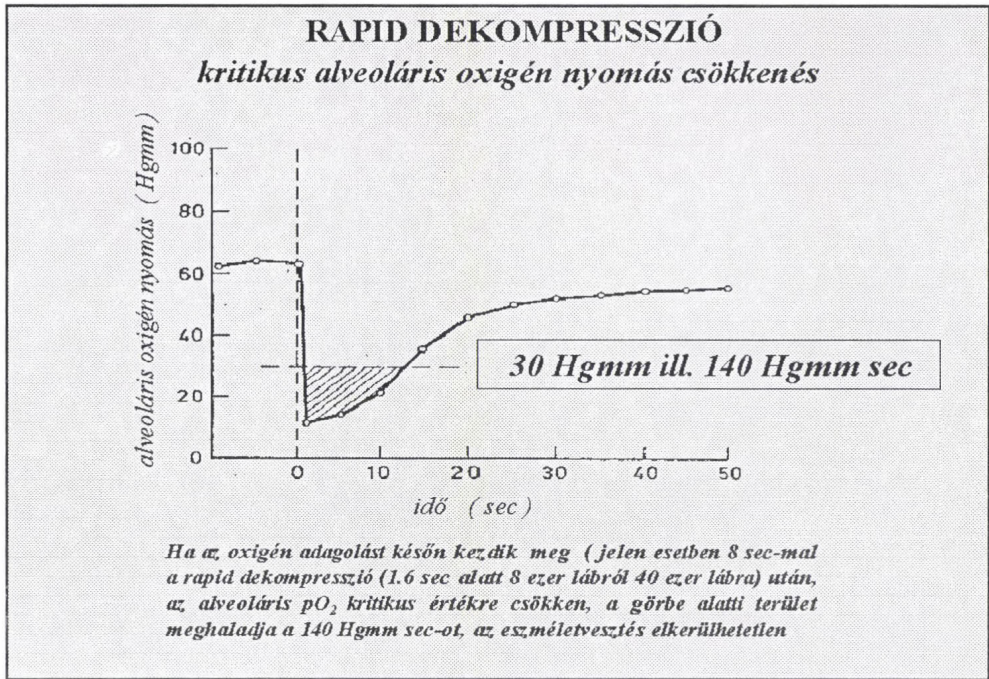
11. ábra: A molekuláris oxigénszűrő koncentrátor



12. ábra: A fedélzeti oxigén rendszer vázlatja

pusú, a törzs és végtagok mentén végigfutó, tehát az egész testre túlnyomást adó, tömlős ráfeszítésű

kezes-lábas ruha ill. az angol kivitelű, az alsó testfélre túlnyomást adó nadrág és a mellkasra túlnyomást adó

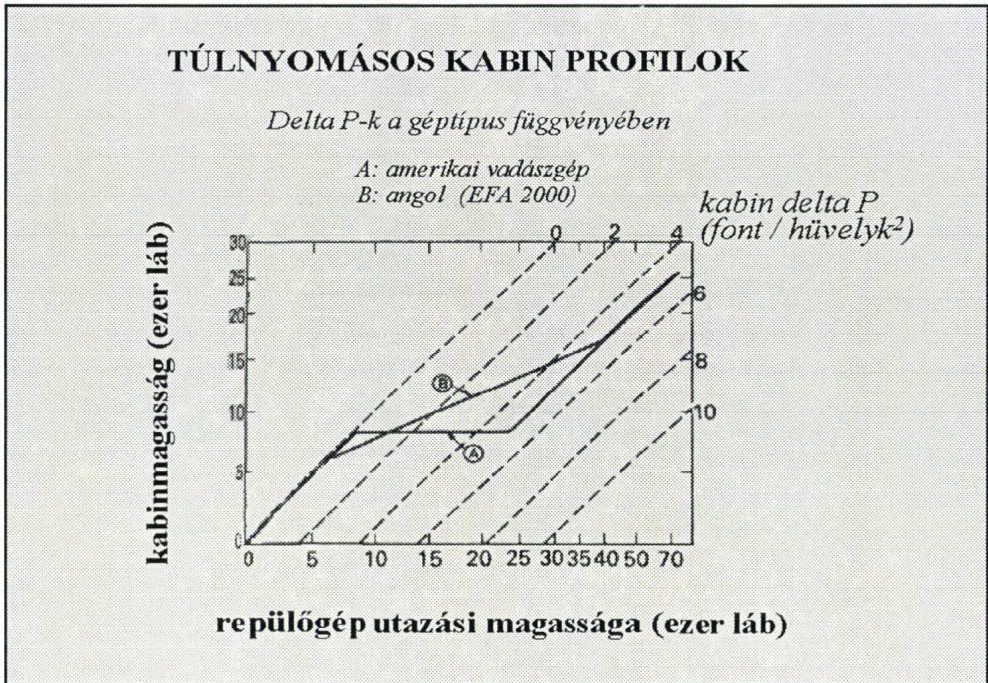


13. ábra: Kritikus alveoláris oxigén tenzió és

mellény kombinálása) általában a repülőgépek csúcsmagasságáig kellő nyomást ad a testfelszín megfelelő százalékára. Ennek célja a tüdőre a hermetikus sisakon vagy maszkon keresztül adott légzési túlnyomás ellen megfelelő kompenzáció biztosítása, a tüdő túlfeszülését és barotraumáját megelőzendő. Minél nagyobb a tüdőre adott túlnyomás és ezzel párhuzamosan a kompenzáló ellennyomást adó testfelszín, elvileg annál hosszabb ideig maradhat 13 000 m fölött a pilóta. E mellett természetesen figyelembe kell vennünk a túlnyomás miatti keringési változásokat, az effektív keringő vér mennyiség csökkenését és a kompenzáló kardiovaszkuláris reakciókat (10. ábra). A túlnyomásos légzés alatt az intrathoracalis nyomás emelésével csökken a vénás visszaáramlás. Ez a

periférián pangást (pooling) okoz, miközben az effektív keringő vér mennyiség csökken. Az alkar relatív térfogata több, mint kétszeresére nő.

A hypoxia elleni védelem a Eurofighter-ben is hasonló elven működik. Egyedi viszont az oxigén forrás, mely a hagyományos, rendszeresen feltöltendő illetve cserélendő gáz vagy folyékony oxigén tartály helyett fedélzeti oxigéngépző rendszert (OBOGS= on-board oxygene generation system), a MSOC-t (= molekuláris oxigén szűrő és koncentráló eszköz) használja, ami legalább két, alumíniumszilikátból álló, zeolit kristályos szűrőágy közötti nyomás váltás és nitrogén adszorpció elvén működik (11. ábra). Az eltérő tetrapol momentumú nitrogén a szűrőágyban adszorbeálódik, az átpasszált levegő oxi-

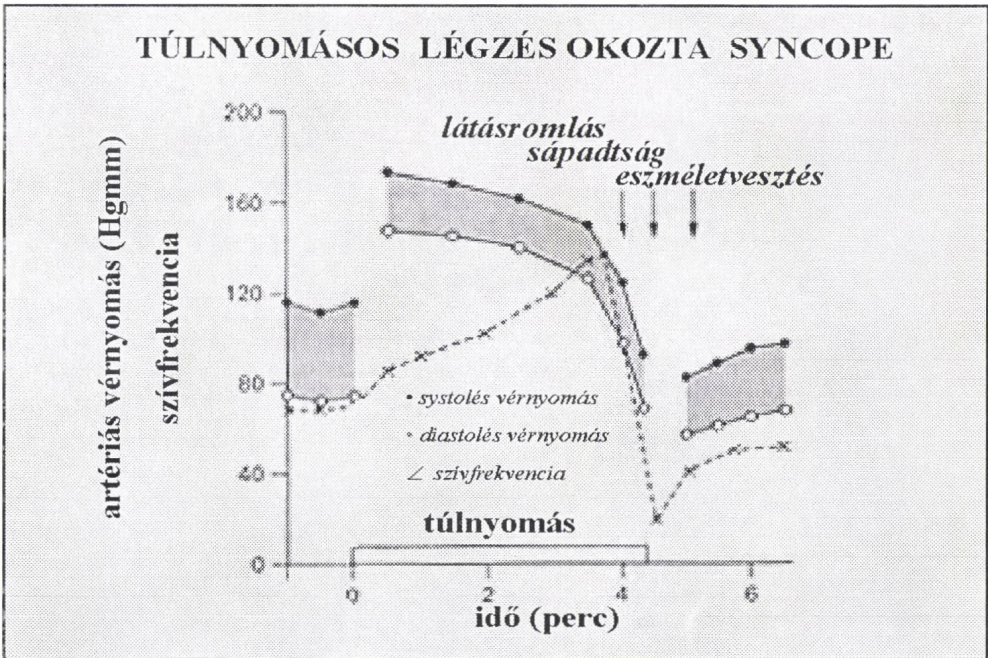


14. ábra: Az Eurofighter kabinnyomás profilja a magasság függvényében

gében feldúsul. A rendszer földi oxigénforrás nélkül 95 % tisztaságú oxigén előállítására képes. Az ilyen oxigén rendszerek logisztikailag előnyösek (gyors karbantartás, megbízhatóság), repülőműszaki szempontból egyszerűbbek (demand regulátor egyszerűsítése). Mivel működése a hajtóműből jövő levegőáramtól függ, hajtómű leállás esetére tartalék (gáznemű) oxigén rendszer szükséges. Az újraindítás után a rendszer működése helyreállítható, a bevetés folytatható. (Más hagyományos elsődleges oxigén források meghibásodása rendszerint a küldetés megszakítását indokolja, a vészhelyzeti oxigén rendszer korlátozott kapacitása miatt.) Egyedi megoldású a magasságfüggő levegő-oxigén gázkeverék előállítása, ugyanis szilárd fázisú oxigén szenzor változtatja a szűrési (töltési és tisztítási) cik-

lusok időtartamát, képes repülés közben az aktuális igénynek megfelelően dúsítani a hajtóműből érkező levegőáramot (12. ábra).

Az esetleges nagy magasságban bekövetkezett dekompreszió kapcsán döntő fontosságú a várható dekompreszió előtti előzetes, illetve a dekompreszió után a minél hamarabbi alveoláris gáztenzió emelés. Erre azért van szükség, hogy a kritikus hypoxiás periódus minél rövidebb legyen (13. ábra). Az alveoláris hypoxia nem haladhatja meg a satírozott rész alatti területet, különben eszméletvesztés következik be. Ehhez nagy magasságban előzetes tiszta oxigén légzésre van szükség, amit a kihermetizáció után 1-2 sec-on belül túlnyomásos tiszta oxigén légzés kell, hogy kövessen. A veszélyt csökkentheti a



15. ábra: A túlnyomásos légzés okozta kollapszus

Eurofighter egyedi kabinnyomás profilja (14. ábra). Ez a delta p-rezsim, amely átmenet a hagyományos izobárikus és differenciális nyomás-rezsimek között, képes a kabinnyomás folyamatos változtatására, ami így csökkenti a barotraumatizáció veszélyét is.

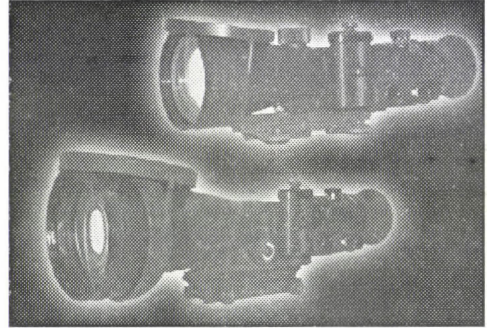
Hirtelen, tartós és jelentős légúti túlnyomás alkalmazása viszont drámai légzésmechanikai és keringési hatásokkal jár, amely szélsőséges esetben, kompenzáló ellennyomás (túlnyomásos ruha) illetve elégséges adaptív kardiovaszkuláris reakció hiányában a keringés összeomlásához vezethet (15. ábra). A túlnyomásos légzés okozta kollapszus hirtelen okozza a keringés összeomlását és elhúzódó hypotenziót eredményez, még az öntudat visszatérése után is. Ezért behatárolt a túlnyomásos légzés alkal-

mazásának ideje, még kompenzáló magassági ruha együttes alkalmazásakor is. Szerencsére a gyorsulás elleni védelemben nincs szükség a túlnyomásos légzés tartós alkalmazására, legfeljebb a harci manőver (túlhúzás) befejezéséig. A Eurofighter itt is egyedi sajátosságokat mutat: az eddigi korlátokat túllépve, tartós gyorsulásra képes nagy magasságban, kihermetizálva is, ami a túlnyomásos légzés hosszú idejű alkalmazását indokolja. Ez viszont a kombinált védőruha további tökéletesítését teszi szükségessé. Speciális, csak a PBA és PBG együttes alkalmazásakor (túlnyomásos légzés együttes **automatikus** fellépte a magasság és gyorsulás ellen, pl. rapid dekompresszió nagy-magasságú, nagysebességű harci manőver közben, a kabintető lerobbanásakor) kialakuló, az EFA-ra

jellemző, a tüdő barotrauma veszélye. Ennek prevenciója technikailag jelenleg nem megoldott.

Látás

A repülés közben a pilóta által felfogott és értékelt információ 80 %-a vizuális információ. A jövő látásjavító berendezései ezt 90 %-ra emelik. A sisakhoz illesztett kijelzők/display-k, az éjjellátó berendezések (NVG), a sisakvizorok (nuklearis robbanás okozta fényfelvillanás, lézer, éles napfény ellen védőbevonattal ellátott plexi/üveg lapok) célja a pilóta vizuális teljesítményének, munkavégző képességének fenntartása, fokozása illetve kiterjesztése minden napszakra, minden időjárási - légköri körülményre [7]. Ez egyúttal az avionikai és fegyverkezelő rendszerekkel való integrációt is jelenti: amerre a pilóta néz, arrafelé vetül ki a sisak kijelzőre az aktuális harci helyzetet jelző grafikai kép illetve arrafelé (tehát akár hátra is) rakétát is indíthat: nincs szükség a hagyományos rakéta befogásra egy 30 fokos előreirányuló kúpszögben. Az éjszakai látást a fényerősítés elvén működő szerkezet és foszforeszkáló képernyő teszi lehetővé: ez a 700-900 nm hullámhosszú (vörös és rövid infravörös) tartományra érzékeny, akár 0,5-2 mlux megvilágítás mellett (scotopikus-pálcika látás), miközben a képzett kép jelentősen erősebb (3 cd/m²) fényerejű, a photopicus tartományban van (csaplátás). Így a látóélesség is jelentősen javul (6/60-ról 6/9-re), igaz, hogy szűk frekvencia spektrumban (530-545 nm, a zöld tartományban).



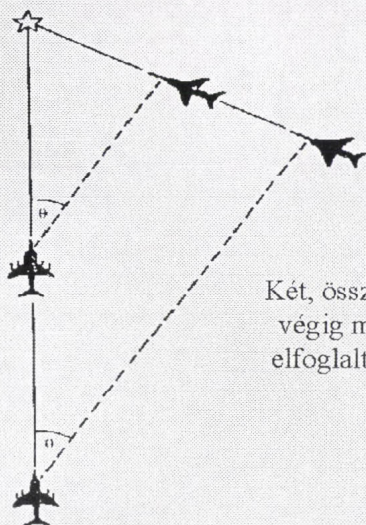
16. ábra: Éjjellátó berendezés

Előnye óriási: megtartott operativitás (teliholdnál szinte nappali látóélesség) sötét adaptáció nélkül. Hátránya a beszűkült (kb. 40 fokos) látómező (a legújabbaknál is kb. 45-50 fokos, a kísérleti négy csöves, 100 fokos látóteret biztosító amerikai NVG pedig túl nehéz), csökkent mélységlátás és háromdimenziós képérzékelés (sztereopszis), néha korrekciót igénylő myop tendencia (éjszaka a tágult pupillák miatt a lencse széli része a retina elé fókuszál), valamint a „sárga-barna” utóhatás (NVG használata után, az NVG látómezőjében, a zöld fotoreceptorok kimerülése miatti átmeneti színlátás zavar.) A gyakorlatilag monokromatikus kép miatt színlátás nincs, a kontrasztérzékenység lecsökken, a tereptárgyak nehezen megkülönböztethetők. A pilótákat az NVG (Night Vision Goggles) (16. ábra) éjjellátó berendezés használatára, elméleti korlátaira oktatni kell, továbbá a fentieket terepasztalon is szemléltetni szükséges.

Természetesen a nagysebességű repülés egyéb problémái is hangsúlyozottan jelentkeznek ennél a szuper-

VIZUÁLIS FUNKCIÓ A REPÜLÉSBEN

késői percepció lehetősége a relatív irányszög változatlansága miatt

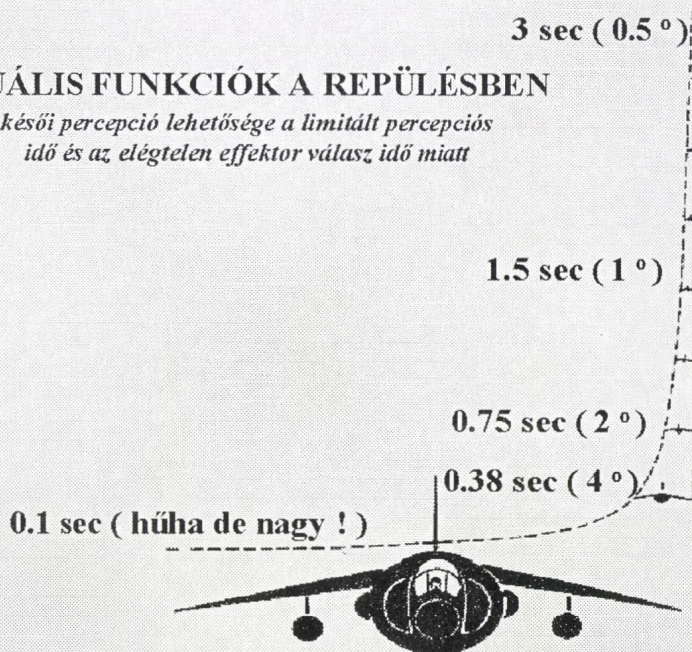


Két, összeütközés felé tartó repülőgép végig megtartja relatív, a látótérben elfoglalt helyzetét és szögsebességét.

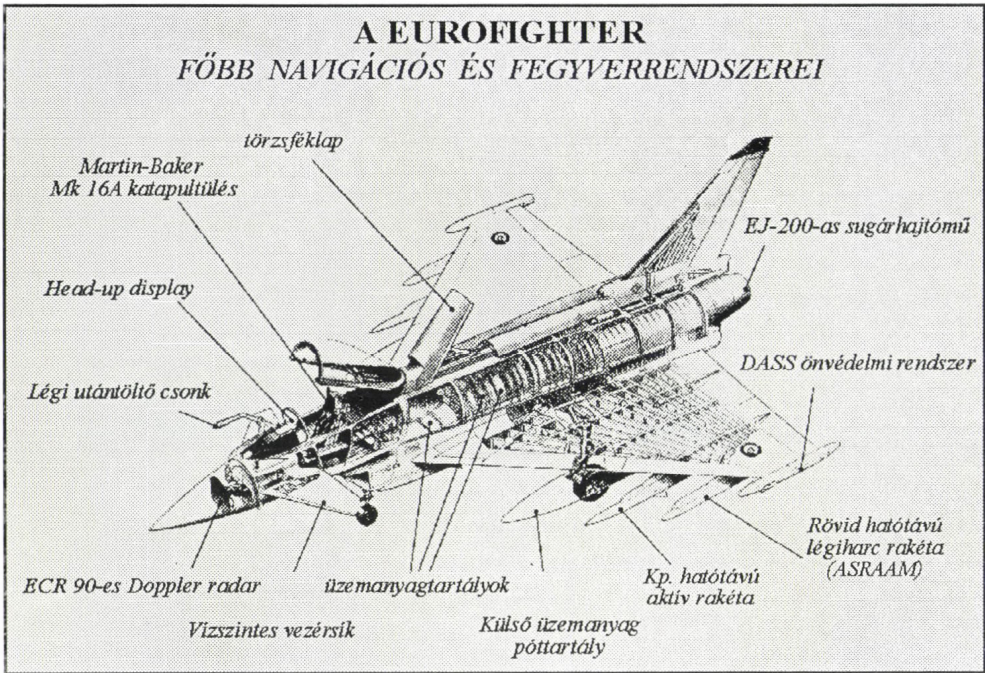
17. ábra: Vizuális percepció korlátai I.

VIZUÁLIS FUNKCIÓK A REPÜLÉSBEN

késői percepció lehetősége a limitált percepció idő és az elégtelen effektor válasz idő miatt



18. ábra: Vizuális percepció korlátai II.



19. ábra: A Eurofighter főbb műszaki egységei

szónikus vadászgépnél. A vizuális információfeldolgozó képesség és a figyelem megosztás korlátozott volta a cselekvési időt is behatárolja. Ez a késői észlelés, valamint elkésett elhárító manőver a frontális és oldalirányú (adott szögsebesség mellett) közeledés során is szemléltethető és a MAC (Mid Air Collision = Légi összeütközés) veszélyére figyelmeztet (17. ábra). Állandó bezárt irányszög mellett a másik repülőgép képe mindig a retina identikus pontjára esik. Relatív elmozdulás nem észlelhető és az éleslátás helyére sem vetül a kép. Így a perifériás látómező nem kap mozgási ingerületet, ha a pilóta nem mozdítja a fejét a kabintetőhöz képest, rutinszerűen pásztázva a környezetet. Az észlelhetőséget a retinális kép nagysága dönti el. Sajnos frontális közeledésnél (18. ábra) a látószög

és a retinális kép nem lineárisan, hanem exponenciálisan nő. A repülőgép képe mindaddig nagyon kicsi, az észlelhetőség szintje alatti, amíg az összeütközés szinte kivédhetetlen. A rendszeres pásztázás, a fixációs pontok tudatos és sorozatos áthelyezése az előttünk lévő térképben segít, de biztonsággal nem zárja ki a légi összeütközést.

Fejvédelem

Mint említettük, a sisak egyre inkább az avionikai és fegyverkezelő rendszerek integráns része. Emellett természetesen feladata a fej mechanikai védelme, a zajvédelem, és szerepe lehet a hőkomfort biztosításában. A mechanikai védelmet a sisak a maszkkal együtt, egységes szerkezeti eszként biztosítja az arc és agyköponya számára. Becsapódáskor a

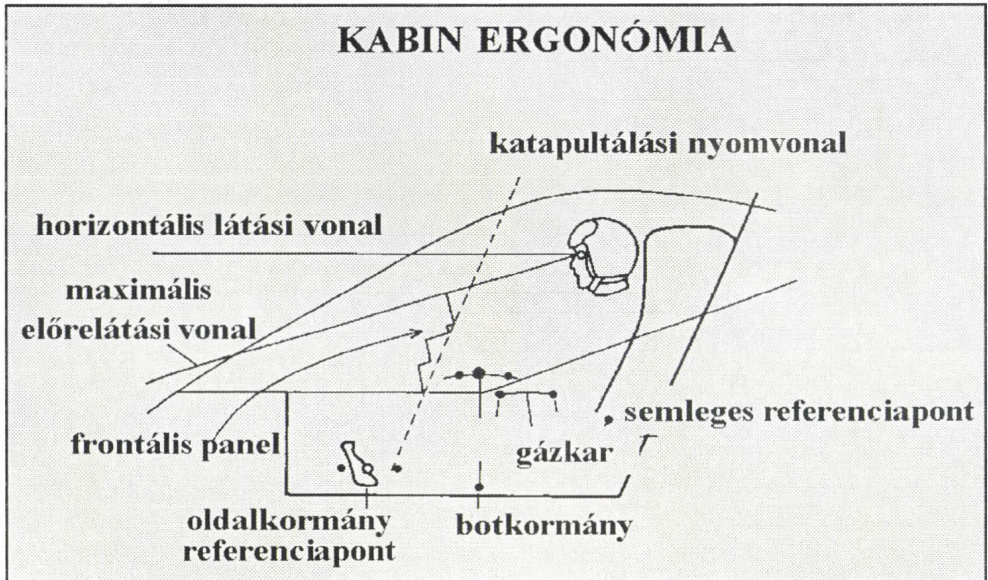
sisakhéj és bélés energia elnyelő és szétosztató rendszerként működik, időben és térben késleltetve a koponya sérülését. Katapultálásakor vagy madárütközéskor a vizorral és a maszkkal együtt védi a légyszöveteket a torlónyomástól, madármaradványtól illetve a katapult beindításakor a kabintetőt lerobbantó detonációs fragmentumoktól. (Viszont hozzáadódó tömege fokozza a fej tehetetlenségét, ami „ostorcsapás” mechanizmussal kialakuló gerincsérülést okozhat) [8]. A sisakok teherbíró képessége standardizált. Nagy-Britanniában a helikoptervezetőknek és cross motorosoknak a szilárdabb "A" típusú, az egyéb pilótáknak és motorosoknak a "B" típusú sisakot kell viselniük. Minden sisakfajtát általában és minden sisakot konkrétan esetleges légi vagy közlekedési baleset után egységesen a Repülőorvosi Intézet (jelenleg DERA Védelmi Értékelő és Kutatási Ügynökség) farnborough-i laboratóriumában tesztelik. A penetráció, a sokk, a rotáció (áthatoló, behorpadásos ill. forgásos becsapódás) elleni védőképességét itt állapítják meg. A jelenleg használt Mark 4 ill. ALPHA fedőnevű sisakok helyett még jobb energia elnyelő tulajdonságokkal rendelkező termoplasztikus sisak fejlesztése is itt folyik.

A zajvédelem első lépcsőjét szintén a sisak adja, a fül körüli héj tömege-térfogata, anyaga, belső szigetelése alacsonyabb frekvencia tartományban jelentősen hozzájárul a sisakon belüli hangszigeteléshez (ld. később). A hőkomfort szempontjából felmerült az erősen vaszkularizált, vazokonstrik-

cióra korlátozottan képes skalp-bőr lokális hűtése megfelelő hűtőfolyadékkal. Bár e megoldás még nem operatív, a jövőben szükség lehet rá, mivel a sisakra illesztett eszközök (NVC, kijelző/display, fegyvercélzó berendezés) mind hőt termelnek. Jelenleg a fő gond a sisak össztömegének és térfogatának a növekedése. Az amúgyis 1,4-1,9 kg-os sisak a ráillesztett berendezések révén egyre nehezebbé és terjedelmesebbé válik, ami problémát jelent a gyorsulások (tartós túlterhelés okozta nyaki fájdalom vagy a katapultálás során nyaki gerincsérülés lehetősége) kapcsán. Problémát jelent a fejmobilitás megőrzése a szűkös pilótafülkében továbbá a megnövekedett fejtehetetlenség mellett a vizuális tengelyhez stabilizált kép fenntartása, a jelenleg kiküszöbölhetetlen vibráció miatt.

Térbeli dezorientáció

A térbeli orientáció és tudatosság (SA= Situational awareness) a pilótának a géphez, a gépnek a környezethez, másik géphez ill. a földhöz képest viszonyított helyzetének helyes érzékelése a jelenben és e viszony adekvát előrevetítése a korlátozott jövőbe. Ennek elvesztése az orientációs hiba, mely repülőkatasztrófák közvetlen oka lehet (fel nem ismert, I. típusú dezorientáció), vagy a folytonos és ismétlődő illúziók által fenntartott percepció-érzékelési konfliktus miatt (felismert II. típusú dezorientáció) stressz-hez, mentális lerobbánáshoz (rövidzárlathoz), neurózishoz, és végül repülési averzióhoz vezethet [9].



20. ábra: Ergonómiai viszonyítási pontok

A Eurofighter kínálta dinamikusan változó gyorsulási környezet a vizuális és vesztibuláris szenzorok (szemcirkuláris és graviceptor szőrsejtek) folyamatos ingerlését jelenti: a vad szomatogyralis és szomatogravikus illúziók mellett pl. a Coriolis kétsíkú vagy páros ingerlés melletti (cross coupled) illúziója tiszta formában, a G vektor lényegi változása nélkül (az ún. G excess illúzió nélkül) jelenik meg: a gép vektoriálisan változtatható tolóereje révén, miközben pályamenti előrehaladása minimális, nagy szögkitéréseket tehet (támadó vagy állásszög változása 50 fok/sec sebességgel akár 90 fokig, a jól ismert kobra állásig). Ezen illúziók és a kísérő nystagmus ellen küzdeni lehet a műszeres repülés még biztonságosabbá tételével, a tudatosulást nem követelő perifériás látórendszer imitálásával (a kabintető fémívét fedő lámpasor egy Föld-stabilizált vizuális környezetmintát kínál a szemnek a

MALCOLM rendszerben, amely a horizontot reprezentálja). A többfunkciós, jól átlátható képernyők, a színesgrafikus megjelenítések, a tekintetáthelyezést kiküszöbölő HUD (szélvédő elé kivetített kép) mind a gyors áttekintést, a "NAGY KÉP" mint egész átfogását segítik elő, a fegyver- és avionikai rendszerek zökkenőmentes kezelésére. Vészhelyzetben a vizuális és audibilis vészjelzők (ez utóbbiak hypoxiában tovább hatékonyak) tudatosítják pl. a másik gép vagy a Föld közelségét (a MAC = légi összeütközés illetve a CFIT = Controlled Flight Into Terrain, azaz kontrollált Földnek repülés, két gyakori oka a repülőkatasztrófáknak).

Zajvédelem és kommunikáció

A zajvédelem első lépcsőjét, a sisak és szerkezeti részei által létrehozott hangszigetelést korábban már említettük. Sajnos ezek csak 250 Hz-ig

nyújtanak kielégítő, 20-50 dB-es zajcsökkentést. Alacsony frekvencia tartományban (63-250 dB között) marad a zajártalom kockázatát magában hordozó 85-95 dB-es folyamatos zajterhelés. A spektrum e részében a zaj csökkentése és a jel (beszéd)/zaj hányados javítása aktív zajredukcióval érhető el, amely a zaj szignál megfordított fázisban történő visszatáplálásával, a destruktív interferencia elvén rontja - kioltja a zajt, miközben az előerősített beszédjel változatlan marad. A DERA laboratóriumában immár a második generációs, digitális miniatűr készülékeket fejlesztik, melyek további, kb. 30 dB-es zajcsökkentést tesznek lehetővé, végleg kiküszöbölve a zajártalom lehetőségét e foglalkozásnál.

Ergonómia

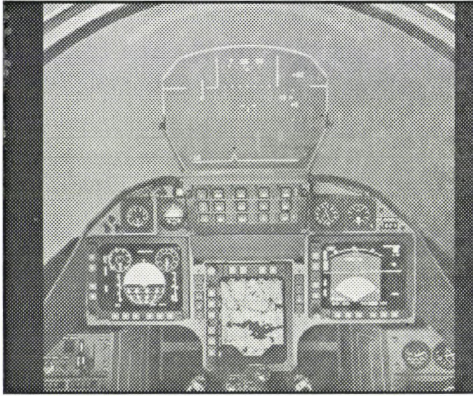
A Eurofighter technikai flexibilitása lehetővé teszi a változó harcászati és hadműveleti helyzethez való adaptációt, mind az alkalmazott fegyverrendszerek, mind pedig a digitális avionika tekintetében (19. ábra). Az eredetileg tisztán légiharc megvívására tervezett gépnek a hidegháború befejeztével módosították a repülési paramétereit, navigációs és fegyverrendszereit, hogy a többcélú rendeltetésnek is eleget tudjon tenni. Földi célok leküzdését, felderítését szintén végre kell tudnia hajtani. Természetesen ez megköveteli a pilótafülke, mint munkahely optimális kialakítását, azért hogy a pilóta is alkalmazkodóképessége maximumát nyújthassa, a fizikai, és a pszichés stressztűrőképesség, valamint az információ feldolgozóképeség szem-

pontjából. A standard ergonómiai viszonyítási pontok (20. ábra) alapján kialakított korszerű ergonómiai megoldások biztosítják a pilóta kabin, mint munkahely legcélszerűbb berendezését, a vezérlő és kontroll szervek optimális elhelyezését.

Hogy csökkentsék a pilóta munkaterhelését, a szenzoros információkat egyetlen rendszerbe integrálták. Ez az AIS (Támadási és Azonosító Rendszer). A rendszer integráció és automatizáció révén a gép-ember interakció a következő kulcselemek közvetítésével valósul meg:

- DVI: Direct Voice Input, azaz közvetlen hangvezérlés,
- VTAS: ami a HOTAS (Hands on Throttle and Stick, azaz kezek a gázkaron és a botkormányon) és a DVI kombinációja (Voice Throttle and Stick, azaz hangvezérlésű gázkar és botkormány),
- HMD: azaz integrált fejre-sisakra erősített kijelző (Helmet Mounted Display),
- HUD: azaz széles látószögű fej előtti kijelző (Head Up Display),
- MHDD: azaz színes többfunkciós kijelzők lefelé tekintéskor (Multi-Function Head Down Display).

A DVI az automatizáció magas fokán jelent meg. A kétutas hang aktivációs rendszernek köszönhetően a pilóta beszélhet a géphez és a gép verbális utasításokat teljesíthet. Így a repülőgép vezetője még inkább arra koncentrálhat, mi is történik a kabinon kívül. Nem szükséges lefelé néznie a



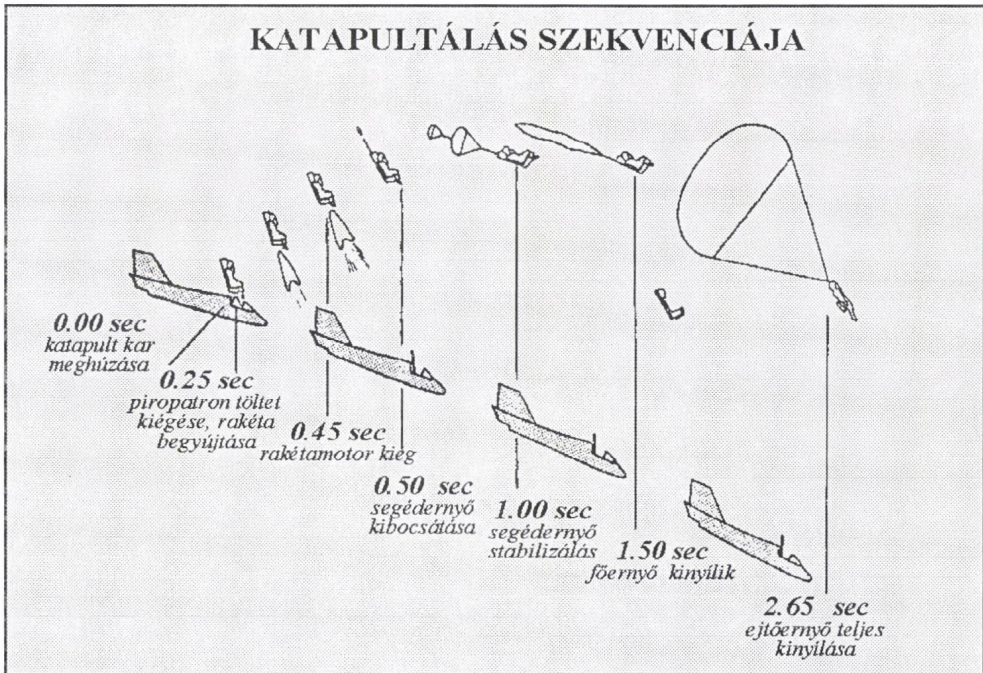
21. ábra: A HUD

műszerekre, és tudatosan manuálisan vezérelni a gépet. Célpontot választhat, rakétákat irányíthat a célra, megváltoztathatja a navigációs tervet, kezelheti a radart, rádió frekvenciát válthat, ellenőrizheti az üzemanyag-szintet, kijelző funkciót válthat, adatátviteli vonalat válthat és üzenetet továbbíthat anélkül, hogy a kezét megmozdítaná, a figyelmét elterelné a műszerekre pillantás, csupán a szavak „erejével”. A gép hangja válaszol, teljesíti a kérést és figyelmezteti a pilótát a repülés megannyi aspektusára.

A HOTAS a középen lent elhelyezett, két tengely mentén szabadon mozdítható botkormányból és az oldalt elhelyezett gázkarból áll. Ez lehetővé teszi a pilóta számára, hogy komplex feladatokat oldjon meg, relatíve könnyen (kis kézmozgással) intenzív repülési (pl. túlterhelési) szituációban. A botkormányon mintegy 24 ujjbegyenyomásra működő funkció található: érzékelő és fegyverzet kezelő, sajátgép védelmi funkciók, stb.

A HMD, mint sisakrostélyra kivetített kijelző összetettségében szintén forradalmi előrelépést jelent. Képes a repülési referencia adatok, a fegyver-célzó berendezések paramétereinek kivetítésére a pilóta sisakra erősített félig-tükröző transzparens vizorra. Előnye egyértelmű: a pilóta nincs kényszerítve, hogy csak előre (a HUD-ra) illetve lefelé a műszerfalra tekintsen. Figyelmét egy pillanatra sem vonja el a külvilágról. A céltárgyat folyamatosan nyomon követheti, vizuálisan fixálhatja és megjelölheti. Így még extrém nagy célszögek esetén is célozhat, „a vállá fölött”. Tényleg biztosítja a „meglátni és tüzelni” képességet. Kombinálható az éjjellátó berendezéssel és rendelkezik a flash (atomrobbanás okozta fényfelvillanás) továbbá lézer elleni védelemmel.

A HUD (21. ábra) a pilóta legfontosabb folyamatos információ forrása: repülési adatokat közöl (magasság, sebesség, irány, hajtómű és egyéb rendszerek állapota), harci üzemmódot mutat, fegyverrendszer adatokat (célzás és célkövetés) biztosít, beépített FLIR (előreirányuló kúpszögben infravörös letapogatás) üzemmódja van. A kivetítő, félig tükröző képernyő a pilóta frontális látóterében, a kabintetőn vagy azon belül, a pilóta előtt helyezkedik el. A korszerű kijelzők és display-k koherens és integratív képet, információt biztosítanak a pilóta számára anélkül, hogy elvonnák a figyelmét a centrális látómezőről és a harci helyzetről. A fejlett optika széles látószögű mezőben valósítja meg a (központi mezőben szinte holografikus, térbeli) képegyesítést. A HUD



22. ábra: Katapultálás elvi vázolata

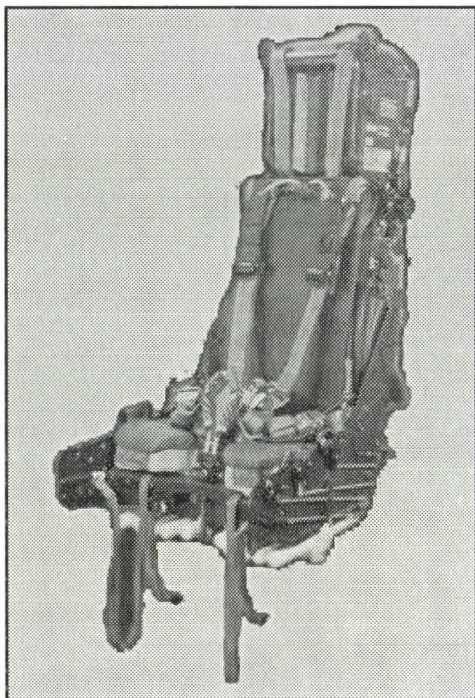
alatt alakították ki az egyéb fontos kapcsolók helyét: a rádió frekvenciaváltás kapcsolóit, a hajtómű és üzemanyag státusz kijelzőit, és a MIDS (Többszörös Információ Elosztó Rendszer) kijelzőit is itt találjuk.

A MHDDS (Többfunkciós Head-Down Display-k) három színes képernyője az egyszerűség és funkcionalitás új egységét teremtette meg. A helyzetnek megfelelően adaptálva ill. billentyűváltással információt biztosít az általános harcászati szituációról, a támadás folyamatáról, a földrajzi és terepviszonyokról (térképszzerűen), a légiirányítási/bejelentkezési módokról, a rendszerek állapotáról és az adekvát ellenőrzési listáról.

Kabinelhagyási eszközök

A II. világháború után, a szuper-

szónikus repülés beköszöntével szükségessé vált a pilóta döntése után már automatizált, emberi erőfeszítéstől független eszközös gépelhagyás biztosítása: nagy sebesség (400 km/óra fölött) és nagy gyorsulások mellett: a katapult rendszerben lévő hatékony piropatron-hidraulika mechanizmus teszi ezt lehetővé. Sokáig az ejtőernyő biztonságos nyitása probléma volt alacsony föld fölötti magasság és alacsony sebesség mellett is. A jelenleg rendszerben álló csúcstechnológiájú vadászgépek már képesek „dupla-nullás” szituációban – nulla sebesség, nulla föld feletti magasság mellett – a biztonságos katapultálás biztosítására. Ez még inkább így van a jövő vadászgépeinél, mivel földközelségben az aktív magasságkeresés akár fordított géphelyzetben és zuhanás közben is felfelé indítja a katapultülést, s ilyen



23. ábra: *Martin-Baker Mk-10L a Gripen katapultülése*

helyzetben bontja az ejtőernyő kupolát. A korszerű piropatron-rakéta rendszer gondosan időzített sorrendben biztosítja a katapultülés eltávolítását a kabinfülkéből, a szék leválasztását és az ejtőernyő nyitását (22. ábra). Ez a szekvencia a gerincre csak limitált túlterhelést ad, ami a modern rendszereknél maximum 12 G, 300 G/sec fellépési sebesség, 27 m/sec csúcsebesség. Optimális testhelyzetben, az automatikus heveder feszítők működésének köszönhetően ez a gerinc tűrőképességén belül van (Pl. a Tornado gépnél sokáig gondot jelentett, hogy a nem optimálisan vektoriált gyorsítás gyakrabban okozott hyperreflexiót és csigolya sérülést a Th 7-8 magasságában, de a szék fejtámlájának módosítása és az új

heveder-megfeszítő bevezetése jelentősen csökkentette a gerinc trauma előfordulását e géptípuson is.) A végtag sérülést a láb-kar elkapó rendszerek és légáram terelő/deflektorok előzhetik meg. Ezek néhol már rendszeresítve vannak.

A legmodernebb, a Martin-Baker cég által gyártott Mk 16 katapultülés két rakétával, javított hevederrel, standard túlélő készlettel, módosított fejtámlával, 68 kg-os össztömeggel szintén biztosítja a duplanullás katapultálás lehetőségét, a földtől a csúcsmagasságig, 0 csomótól 650 csomós sebességig. A CREST rendszer (Crew Rapid Escape System Technique, azaz gyors gépelhagyási rendszer) képes a pilóta/navigátor repülés előtt betáplált súlyának megfelelően a katapultálási tolóerő adekvát megválasztására (egy Tornado pilóta súlya felszereléssel együtt akár 136 kg is lehet, de gondoljunk a kisméretű női pilóták megjelenésére is!). Nagymagasságú katapultálás során az ejtőernyőnyitás késleltetett 10-15 000 láb magasságig, (a hypoxia és hidegártalom megelőzésére), leérkezéskor itt is gond a sérülésveszély a nagyobb súly, nagyobb földetérési sebesség miatt. (Ideálisan 6 - 6.5 m/s lenne, de ez gyakran még 8,2. m/s, a nagy súlyú, ejtőernyőzésben gyakorlatlan pilóták 10-15 %-a bokasérülést szenved). Az új rendszer (ACES Advanced concept of ejection system, azaz modernizált katapult koncepció) javított aerodinamikájú ejtőernyő kupolával ezt hivatott megoldani.

Katapult berendezése – bár éles helyzetben mindössze egyszer kellett vizsgáznia – ugyancsak a Martin-

Baker cég terméke, az MK 10 L variáns, melynek jellemzői szintén a pilóta maximális esélyét biztosítják a kabin vézelhagyását követően (23. ábra). Alacsony magasságon 1150 km/ó sebességig, nagy magasságon (akár 16 km-ig) 1,8 Mach sebességig, zero magasságban zero sebesség mellett, 100 méteres magasságig hátonrepülésben, 700 méterig függőleges zuhanásban, +6 G és -3 G közötti túlterhelés mellett képes biztosítani a biztonságos földetérést.

A magyar vadászpilóta tenderen befutó Gripen JAS 39 az Eurofighter méltó vetélytársa, technikai-avionikai megoldásait tekintve hasonló, a negyedik generációs vadászgépek jellegzetességeit mutatja. Mind oxigénrendszerét, mind a gyorsulás illetve a hypoxia elleni védőberendezéseket, valamint a túlélést biztosító egyéni

védőfelszerelés technikai paramétereit tekintve világszínvonalú, megbízható megoldások jellemzik (24. ábra): G védelem: (6 G/s esetén 30 sec-ig 9 G gyorsulásig AGSM (anti-G feszítési manőver) nélkül ill. 0,1 G/s esetén 7 G gyorsulásig AGSM nélkül). Megoldott a biológiai és vegyi védelem, a magassági védelem (beleértve az expozív dekompressziót), a hideg elleni védelem (beleértve a hidegvíz immerziót), hő/égés elleni védelem (a kabinban és a földön egyaránt), valamint a lég/ torlónyomás elleni védelem katapultálásakor 600 csomóig (kb. 1100 km/óraig).

Összefoglalás

A fentiekben áttekintettük a vadászgépek új generációjával kapcsolatos új repüléselettani és repülő/foglalkozáségszégügyi problémákat, illetve azok megoldásait. A fenti fejlesztések



24. ábra: A GRIPEN kombinált harcászati hajózőruhája

Tactical Flight Combat Suit

FC anti-G ruha, Nomex Delta T/A anyagból, 200 g/m², zipzáras, 9 helyett egy légtömlővel⁰

Hajóző ruha Nomex Delta C anyagból 220 g/m²

Hajóző mentőmellény Nomex Delta T/A anyagból 220 g/m²
Vízben automatikusan felfújódik, integrált jeladóval

Immerziós ruha (sűrűn szövött, L28/L32 típusú, Ventile-ből készült)

Csizmák a lábalkapó csatlakozással

Alsónemű arktikus és forró égövi klímára

Sisak a maszkkal, PBG opcióval

B és C védelem sisakon kívüli kloroprén arcmaszk és nyaki gallér, párumentesített vízor

egy része már rendszerbe állítható, más részük még fejlesztés-kipróbálás alatt áll. Ebben a munkában a pilóta mint aktív munkavégző, a fejlesztő repülőmérnök és a repülőorvos szoros együttműködése valósul meg, a biztonságos repülés javára.

Köszönetnyilvánítás :

Első szerző köszönetét fejezi ki John *Ernsting* professzornak, a Brit Királyi Légierő nyugalmazott vezérőrnagyának, a King's College, Londoni Egyetem professzorának az egyes rendelkezésre bocsátott ábrák közlési lehetőségéért illetve a repülőorvosi diploma tanfolyam idevonatkozó előadásaiért.

Az előforduló angol és orosz kifejezések és rövidítések összefoglalása, angolszász mértékegységek átszámítása

EFA: European Fighter Aircraft

A/A ill. A/G: air to air (levegő-levegő) ill. air to ground (levegő-föld) rakéták

Push-pull effect: "nyomd és húzd hatás"; a botkormány előre-hátra mozgása során fellépő jelenség

VKK: Viszotnij kompenzirujucsij kosztjum, magassági kompenzáló ruha

PPK: protyivo peregruzocsnij kosztjum, gyorsulás ellen védő (anti-G) ruha

Hook: gyors kilézés utáni levegő visszatartás a légúti nyomás fokozására (hangutánzó angol)

SACM: Simulated air combat manoeuvre: szimulált légiharc manőver centrifugában

AGSM: Anti-G Straining Manoeuvre; gyorsulás elleni feszítési manőver

Gx, Gy, Gz: a testhez viszonyított vonatkoztatási rendszerben mell-hát, bal-jobb oldal ill. far-fej irányú gyorsulások ill. ellentétes irányú túlterhelések

G-LOC: G induced loss of consciousness, gyorsulás okozta eszméletvesztés

FCAGT: Full coverage Anti-G Trousers; kb. teljes testfedésű anti-G (gyorsulás elleni) nadrág illetve ruha

HUD: Head-Up Display azaz fej előtti kijelző

PBA: pressure breathing for altitude; magasság (hypoxia) elleni túlnyomásos légzés

PBG: pressure breathing for G; gyorsulás elleni túlnyomásos légzés

Psi: pound/square inch azaz font/négyzet hüvelyk; kb. 0,06 atm, azaz kb. 50 Hgmm (1 font 0,45 kg, 1 hüvelyk 2,6 cm, 1 négyzet hüvelyk 6,76 cm²)

Csomó (knot): 1 csomó 1 tengeri mérföld/óra sebesség, kb. 1800 m/óra. 650 csomó kb. 1280 km/óra, kb. 1,1 Mach (hangsebesség mértékegysége)

NVG (Night Vision Goggles): éjjellátó berendezés

MAC: Mid Air Collision: Légi összeütközés

CFIT: Controlled Flight Into Terrain, azaz kontrollált Földnek repülés

CREST: Crew Rapid Escape System Technique (gyors kimentési, katapultálási technika)

ACES: Advanced Concept of Ejection System (katapult modern koncepciója)

1 láb: 0,30 méter

IRODALOM

- [1] Aero Magazin, 1999. február, 22-24 (www.dasa.de nyomán)
- [2] *Glaister, D.H. et al.* : The effects of long duration acceleration. *Aviation Medicine* (Edited by *J. Ernsting*), Oxford, Butterworth-Heinemann, 1999. 133-137.
- [3] *Green, N.D.C.* Protection against long duration acceleration. *Aviation Medicine* (Edited by *J. Ernsting*), Oxford, Butterworth-Heinemann, 148-151, 1999.
- [4] *Burton, R.R.* : Anti-G suit inflation rate requirements. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 1988. 59: 601-605.
- [5] *Kikukawa, A.*: G-related musculoskeletal spine symptoms. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 1995. 66: 269-272.
- [6] *Banks, R.D., Gray, G.*: "Bunt bradycardia": Two cases of slowing of heart rate under negative Gz. (push-pull effect). *Aviation Space and Environmental Medicine*, 1994, 65: 330-1.
- [7] *Grósz, A.*: A pilóták vizuális munkavégző képességét befolyásoló tényezők. *Honvédségi Szemle*, 1990/6. 99-107.
- [8] *Ommaya, A.K., Hirsch, A.E.*: Tolerances for cerebral concussion from head impact and whiplash in primates. *Journal of Biomechanics*, 1971, 4: 13.
- [9] *Hayes, G.,*: Inflight anxiety conditions presenting with 'break-off symptoms'. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 1991. 62: 342-345.

Lt.Col. S.A. Szabó M.D.M.C,
Col. A. Grósz M.D.M.C., Ph.D.,
med.habil,
Prof. J. Hideg M.D., DSc. maj. gen.
(ret.),
Maj. Zs. Pászti M.D.M.C.,
Maj. Zs. Tótká M.D.M.C.,
Lt.Col. G.Augusztin M.D.M.C.

Aeromedical aspects in design of new fighter aircrafts Problems elicited by Eurofighter

As the military aviation and flying technics become more and more complicated new, sophisticated engineering solutions enter into service, far beyond the limits of human tolerance. These new challenges should be harmonized with physiological and psychological factors, taking into account new solutions, new individual protection against aeromedical stressors. Reviewing the fundamental physiological problems we are going to list the possible compromises compatible with flight safety. Most of them are linked to the extension and modification of altitude protection garment (new oxygene systems, pressure breathing for G protection, new anti-G suit). Furthermore, we are going to analyze the new threatening aspects of operability (noise reduction, vision aids, head protection, situational awareness).

Dr. Szabó Sándor András o.alez.
6000 Kecskemét, Balaton u. 17.